

05.12.03

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

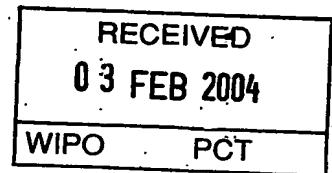
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2002年12月 6日

出願番号  
Application Number: 特願2002-355756  
[ST. 10/C]: [JP 2002-355756]

出願人  
Applicant(s): 独立行政法人物質・材料研究機構  
石川島播磨重工業株式会社

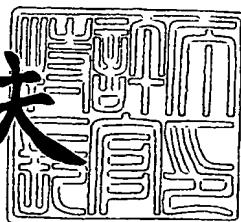


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 1月 15日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 J99044A1  
【提出日】 平成14年12月 6日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 C22C 19/00  
【発明の名称】 N i 基単結晶超合金  
【請求項の数】 11  
【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県つくば市千現1丁目2番1号 独立行政法人物質  
・材料研究機構内  
【氏名】 小林 敏治  
【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県つくば市千現1丁目2番1号 独立行政法人物質  
・材料研究機構内  
【氏名】 小泉 裕  
【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県つくば市千現1丁目2番1号 独立行政法人物質  
・材料研究機構内  
【氏名】 横川 忠晴  
【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県つくば市千現1丁目2番1号 独立行政法人物質  
・材料研究機構内  
【氏名】 原田 広史  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都西東京市向台町三丁目5番1号 石川島播磨重工  
業株式会社 田無工場内  
【氏名】 青木 祥宏

## 【発明者】

【住所又は居所】 東京都西東京市向台町三丁目5番1号 石川島播磨重工業株式会社 田無工場内

【氏名】 荒井 幹也

## 【発明者】

【住所又は居所】 東京都西東京市向台町三丁目5番1号 石川島播磨重工業株式会社 田無工場内

【氏名】 細谷 昌厚

## 【発明者】

【住所又は居所】 東京都西東京市向台町三丁目5番1号 石川島播磨重工業株式会社 田無工場内

【氏名】 正木 彰樹

## 【特許出願人】

【持分】 050/100

【識別番号】 301023238

【氏名又は名称】 独立行政法人物質・材料研究機構

【代表者】 岸 輝雄

## 【特許出願人】

【持分】 050/100

【識別番号】 000000099

【氏名又は名称】 石川島播磨重工業株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100064908

【弁理士】

【氏名又は名称】 志賀 正武

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100089037

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 隆

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 10,500円

【その他】 国以外のすべての者の持分の割合 050／100

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9001603

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 Ni 基单結晶超合金

【特許請求の範囲】

【請求項1】 成分が重量比で、Al:5.0重量%以上7.0重量%以下、Ta:4.0重量%以上10.0重量%以下、Mo:1.1重量%以上4.5重量%以下、W:4.0重量%以上10.0重量%以下、Re:3.1重量%以上8.0重量%以下、Hf:0.01重量%以上0.50重量%以下、Cr:2.0重量%以上5.0重量%以下、Co:0.1重量%以上9.9重量%以下、Ru:4.1重量%以上14.0重量%以下を含有し、残部がNiと不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とするNi基单結晶超合金。

【請求項2】 成分が重量比で、Al:5.0重量%以上7.0重量%以下、Ta:4.0重量%以上6.0重量%以下、Mo:1.1重量%以上4.5重量%以下、W:4.0重量%以上10.0重量%以下、Re:3.1重量%以上8.0重量%以下、Hf:0.01重量%以上0.50重量%以下、Cr:2.0重量%以上5.0重量%以下、Co:0.1重量%以上9.9重量%以下、Ru:4.1重量%以上14.0重量%以下を含有し、残部がNiと不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とするNi基单結晶超合金。

【請求項3】 成分が重量比で、Al:5.0重量%以上7.0重量%以下、Ta:4.0重量%以上6.0重量%以下、Mo:2.9重量%以上4.5重量%以下、W:4.0重量%以上10.0重量%以下、Re:3.1重量%以上8.0重量%以下、Hf:0.01重量%以上0.50重量%以下、Cr:2.0重量%以上5.0重量%以下、Co:0.1重量%以上9.9重量%以下、Ru:4.1重量%以上14.0重量%以下を含有し、残部がNiと不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とするNi基单結晶超合金。

【請求項4】 成分が重量比で、Al:5.9重量%、Ta:5.9重量%、Mo:3.9重量%、W:5.9重量%、Re:4.9重量%、Hf:0.10重量%、Cr:2.9重量%、Co:5.9重量%、Ru:5.0重量%を含有し、残部がNiと不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とする請求項1から請求項3のうちのいずれか一項に記載のNi基单結晶超合金。

【請求項5】 成分が重量比で、Al:5.8重量%、Ta:5.6重量%、Mo:3.1重量%、W:5.8重量%、Re:4.9重量%、Hf:0.10重量%、Cr:2.9重量%、Co:5.8重量%、Ru:5.0重量%を含有し、残部がNiと不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とする請求項1から請求項3のうちのいずれか一項に記載のNi基単結晶超合金。

【請求項6】 成分が重量比で、Al:5.8重量%、Ta:5.8重量%、Mo:3.9重量%、W:5.8重量%、Re:4.9重量%、Hf:0.10重量%、Cr:2.9重量%、Co:5.8重量%、Ru:6.0重量%を含有し、残部がNiと不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とする請求項1から請求項3のうちのいずれか一項に記載のNi基単結晶超合金。

【請求項7】 母相の格子定数をa1とし、析出相の格子定数をa2としたとき、 $a2 \leq 0.999a1$ であることを特徴とする請求項1から請求項6のうちのいずれか一項に記載のNi基単結晶超合金。

【請求項8】 重量比で、0重量%以上2.0重量%以下のTiをさらに含有することを特徴とする請求項1から請求項7のうちのいずれか一項に記載のNi基単結晶超合金。

【請求項9】 重量比で、0重量%以上4.0重量%以下のNbをさらに含有することを特徴とする請求項1から請求項8のうちのいずれか一項に記載のNi基単結晶超合金。

【請求項10】 B、C、Si、Y、La、Ce、V、Zrのうちの少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項1から請求項9のうちのいずれか一項に記載のNi基単結晶超合金。

【請求項11】 重量比で、B:0.05重量%以下、C:0.15重量%以下、Si:0.1重量%以下、Y:0.1重量%以下、La:0.1重量%以下、Ce:0.1重量%以下、V:1重量%以下、Zr:0.1重量%以下であることを特徴とする請求項10に記載のNi基単結晶超合金。

#### 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、Ni基単結晶超合金に関するものであり、特に、クリープ特性の向上を目的としたNi基単結晶超合金の技術に関するものである。

### 【0002】

#### 【従来の技術】

従来、航空機、ガスタービンなどの高温下の動・静翼用の材料として開発されているNi基単結晶超合金の代表的な組成は、例えば表1に示したものが挙げられる。

### 【0003】

【表1】

合 金 名	元 素 (重 量 %)													
	Al	Ti	Ta	Nb	Mo	W	Re	C	Zr	Hf	Cr	Co	Ru	Ni
CMSX-2	6.0	1.0	6.0		1.0	8.0					8.0	5.0		残部
CMSX-4	5.6	1.0	6.5		0.6	6.0	3.0				6.5	9.0		残部
Rene' N6	6.0		7.0	0.30	1.0	6.0	5.0				0.20	4.0	13.0	残部
CMSX-10K	5.7	0.3	8.4	0.10	0.4	5.5	6.3				0.03	2.3	3.3	残部
3B	5.7	0.5	8.0			5.5	6.0	0.05			0.15	5.0	12.5	3.0 残部

【0004】

上記Ni基単結晶超合金は、所定の温度で溶体化処理を行った後、時効処理を行ってNi基単結晶超合金としている。この合金は、いわゆる析出硬化型合金と呼ばれており、母相である $\gamma$ 相中に、析出相である $\gamma'$ 相が析出した形態を有している。

## 【0005】

表1に挙げた合金のうち、 CMS X-2 (キャノン・マスケゴン社製、 特許文献1参照) は第1世代合金、 CMS X-4 (キャノン・マスケゴン社製、 特許文献2参照) は第2世代合金、 Rene' N6 (ゼネラル・エレクトリック社製、 特許文献3参照) 、 CMS X-10K (キャノン・マスケゴン社製、 特許文献4参照) は第3世代合金、 3B (ゼネラル・エレクトリック社製、 特許文献5参照) は第4世代合金とされている。

## 【0006】

## 【特許文献1】

米国特許第4, 582, 548号明細書

## 【特許文献2】

米国特許第4, 643, 782号明細書

## 【特許文献3】

米国特許第5, 455, 120号明細書

## 【特許文献4】

米国特許第5, 366, 695号明細書

## 【特許文献5】

米国特許第5, 151, 249号明細書

## 【0007】

## 【発明が解決しようとする課題】

上記の第1世代合金である CMS X-2 や、 第2世代合金である CMS X-4 は、 低温下でのクリープ強度は遜色ないものの、 高温の溶体化処理後においても共晶  $\gamma'$  相が多量に残存し、 第3世代合金と比較して高温下でのクリープ強度が劣る。

## 【0008】

また、 上記の第3世代である Rene' N6 や CMS X-10K は、 第2世代合金よりも高温下でのクリープ強度の向上を目指した合金であるが、 Re の組成比 (5重量%以上) が母相 ( $\gamma$ 相) へのRe固溶量を越えるため、 余剰のReが他の元素と化合して高温下でいわゆるTCP相 (Topologically Close Packed

相)を析出させ、高温下で長時間の使用によりこのTCP相の量が増加してクリープ強度が低下するという問題があった。

#### 【0009】

また、Ni基単結晶超合金のクリープ強度を向上させるには、析出相( $\gamma'$ 相)の格子定数を母相( $\gamma$ 相)の格子定数よりわずかに小さくすることが有効であるが、各相の格子定数は合金の構成元素の組成比により大きく変動するため、格子定数の微妙な調整が困難であるためにクリープ強度の向上を図ることが難しいという問題があった。

#### 【0010】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであって、高温下でのTCP相の析出を防止して強度の向上を図ることが可能なNi基単結晶超合金を提供することを目的とする。

#### 【0011】

##### 【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本発明は以下の構成を採用した。

本発明のNi基単結晶超合金は、成分が重量比で、Al:5.0重量%以上7.0重量%以下、Ta:4.0重量%以上10.0重量%以下、Mo:1.1重量%以上4.5重量%以下、W:4.0重量%以上10.0重量%以下、Re:3.1重量%以上8.0重量%以下、Hf:0.01重量%以上0.50重量%以下、Cr:2.0重量%以上5.0重量%以下、Co:0.1重量%以上9.9重量%以下、Ru:4.1重量%以上14.0重量%以下を含有し、残部がNiと不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とする。

#### 【0012】

また、本発明のNi基単結晶超合金は、成分が重量比で、Al:5.0重量%以上7.0重量%以下、Ta:4.0重量%以上6.0重量%以下、Mo:1.1重量%以上4.5重量%以下、W:4.0重量%以上10.0重量%以下、Re:3.1重量%以上8.0重量%以下、Hf:0.01重量%以上0.50重量%以下、Cr:2.0重量%以上5.0重量%以下、Co:0.1重量%以上9.9重量%以下、Ru:4.1重量%以上14.0重量%以下を含有し、残部

がNiと不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とする。

#### 【0013】

また、本発明のNi基単結晶超合金は、成分が重量比で、Al:5.0重量%以上7.0重量%以下、Ta:4.0重量%以上6.0重量%以下、Mo:2.9重量%以上4.5重量%以下、W:4.0重量%以上10.0重量%以下、Re:3.1重量%以上8.0重量%以下、Hf:0.01重量%以上0.50重量%以下、Cr:2.0重量%以上5.0重量%以下、Co:0.1重量%以上9.9重量%以下、Ru:4.1重量%以上14.0重量%以下を含有し、残部がNiと不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とする。

#### 【0014】

上記のNi基単結晶超合金によれば、Ruを添加することにより、強度低下の原因となるTCP相が高温使用時に析出するのが抑制される。また、他の構成元素の組成比を最適な範囲に設定することにより母相(γ相)の格子定数と析出相(γ'相)の格子定数とを最適な値にすることが可能になる。これらにより、高温下での強度を向上させることが可能になる。

#### 【0015】

また、本発明のNi基単結晶超合金は、先に記載のNi基単結晶超合金であって、成分が重量比で、Al:5.9重量%、Ta:5.9重量%、Mo:3.9重量%、W:5.9重量%、Re:4.9重量%、Hf:0.10重量%、Cr:2.9重量%、Co:5.9重量%、Ru:5.0重量%を含有し、残部がNiと不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とする。

#### 【0016】

上記組成のNi基単結晶超合金によれば、137MPa、1000時間でのクリープ耐用温度を1344K(1071°C)とすることが可能になる。

#### 【0017】

また、本発明のNi基単結晶超合金は、先に記載のNi基単結晶超合金であって、成分が重量比で、Co:5.8重量%、Cr:2.9重量%、Mo:3.1重量%、W:5.8重量%、Al:5.8重量%、Ta:5.6重量%、Ru:5.0重量%、Re:4.9重量%、Hf:0.10重量%を含有し、残部がN

$Ni$  と不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とする。

#### 【0018】

上記組成の  $Ni$  基単結晶超合金によれば、137 MPa、1000時間でのクリープ耐用温度を1366K (1093°C) とすることが可能になる。

#### 【0019】

また、本発明の  $Ni$  基単結晶超合金は、先に記載の  $Ni$  基単結晶超合金であって、成分が重量比で、Co:5.8重量%、Cr:2.9重量%、Mo:3.9重量%、W:5.8重量%、Al:5.8重量%、Ta:5.8重量% (5.82重量%)、Ru:6.0重量%、Re:4.9重量%、Hf:0.10重量%を含有し、残部が  $Ni$  と不可避的不純物からなる組成を有することを特徴とする。

#### 【0020】

上記組成の  $Ni$  基単結晶超合金によれば、137 MPa、1000時間でのクリープ耐用温度を1375K (1102°C) とすることが可能になる。

#### 【0021】

そして、本発明の  $Ni$  基単結晶超合金は、先に記載の  $Ni$  基単結晶超合金であって、母相の格子定数を  $a_1$  とし、析出相の格子定数を  $a_2$  としたとき、 $a_2 \leq 0.999 a_1$  であることを特徴とする。

#### 【0022】

上記の  $Ni$  基単結晶超合金によれば、母相の格子定数を  $a_1$  とし、析出相の格子定数を  $a_2$  としたとき、 $a_1$  と  $a_2$  の関係が  $a_2 \leq 0.999 a_1$  であり、析出相の格子定数  $a_2$  が母相の格子定数  $a_1$  のマイナス 0.1% 以下であるので、母相中に析出する析出相が荷重方向の垂直方向に連続して延在するように析出し、応力下で転位欠陥が合金組織中を移動することが少なくなり、高温時の強度を高めることができる。

#### 【0023】

また、本発明の  $Ni$  基単結晶超合金は、先に記載の  $Ni$  基単結晶超合金であって、重量比で、0重量%以上2.0重量%以下の  $Ti$  をさらに含有してもよい。

#### 【0024】

また、本発明のNi基単結晶超合金は、先に記載のNi基単結晶超合金であって、重量比で、0重量%以上4.0重量%以下のNbをさらに含有してもよい。

### 【0025】

また、本発明のNi基単結晶超合金は、先に記載のNi基単結晶超合金であって、B、C、Si、Y、La、Ce、V、Zrのうちの少なくとも一つを含んでもよい。

この場合、個々の成分は、重量比で、B：0.05重量%以下、C：0.15重量%以下、Si：0.1重量%以下、Y：0.1重量%以下、La：0.1重量%以下、Ce：0.1重量%以下、V：1重量%以下、Zr：0.1重量%以下であるのが好ましい。

### 【0026】

#### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

本発明のNi基単結晶超合金は、Al、Ta、Mo、W、Re、Hf、Cr、Co、Ru、及びNi（残部）と不可避的不純物からなる合金である。

### 【0027】

上記のNi基単結晶超合金は、組成比がAl：5.0重量%以上7.0重量%以下、Ta：4.0重量%以上10.0重量%以下、Mo：1.1重量%以上4.5重量%以下、W：4.0重量%以上10.0重量%以下、Re：3.1重量%以上8.0重量%以下、Hf：0.01重量%以上0.50重量%以下、Cr：2.0重量%以上5.0重量%以下、Co：0.1重量%以上9.9重量%以下、Ru：4.1重量%以上14.0重量%以下であり、残部がNiと不可避的不純物からなる合金である。

### 【0028】

また上記のNi基単結晶超合金は、組成比がAl：5.0重量%以上7.0重量%以下、Ta：4.0重量%以上6.0重量%以下、Mo：1.1重量%以上4.5重量%以下、W：4.0重量%以上10.0重量%以下、Re：3.1重量%以上8.0重量%以下、Hf：0.01重量%以上0.50重量%以下、Cr：2.0重量%以上5.0重量%以下、Co：0.1重量%以上9.9重量%

以下、Ru：4.1重量%以上14.0重量%以下を含有し、残部がNiと不可避的不純物からなる合金である。

### 【0029】

また上記のNi基単結晶超合金は、組成比がAl：5.0重量%以上7.0重量%以下、Ta：4.0重量%以上6.0重量%以下、Mo：2.9重量%以上4.5重量%以下、W：4.0重量%以上10.0重量%以下、Re：3.1重量%以上8.0重量%以下、Hf：0.01重量%以上0.50重量%以下、Cr：2.0重量%以上5.0重量%以下、Co：0.1重量%以上9.9重量%以下、Ru：4.1重量%以上14.0重量%以下を含有し、残部がNiと不可避的不純物からなる合金である。

### 【0030】

上記合金はいずれも、オーステナイト相たる $\gamma$ 相（母相）と、この母相中に分散析出した中間規則相たる $\gamma'$ 相（析出相）とを有している。 $\gamma'$ 相は、主としてNi<sub>3</sub>Alで表される金属間化合物からなり、この $\gamma'$ 相によりNi基単結晶超合金の高温強度が向上する。

### 【0031】

Crは耐酸化性に優れた元素であり、Ni基単結晶超合金の高温耐食性を向上させる。

Crの組成比は、Cr：2.0重量%以上5.0重量%以下の範囲が好ましく、2.9重量%とすることが最も好ましい。

Crの組成比が2.0重量%未満であると、所望の高温耐食性を確保できないので好ましくなく、Crの組成比が5.0重量%を越えると、 $\gamma'$ 相の析出が抑制されるとともに $\sigma$ 相や $\mu$ 相などの有害相が生成し、高温強度が低下するので好ましくない。

### 【0032】

Moは、W及びTaとの共存下にて、母相である $\gamma$ 相に固溶して高温強度を増加させるとともに析出硬化により高温強度に寄与する。

Moの組成比は、1.1重量%以上4.5重量%以下の範囲が好ましく、2.9重量%以上4.5重量%以下の範囲がより好ましく、3.1重量%あるいは3

9重量%とすることが最も好ましい。

Moの組成比が1.1重量%未満であると、所望の高温強度を確保できないので好ましくなく、一方、Moの組成比が4.5重量%を越えても、高温強度が低下し、更には高温耐食性も低下するので好ましくない。

### 【0033】

Wは、上記のようにMo及びTaとの共存下にて固溶強化と析出硬化の作用により、高温強度を向上させる。

Wの組成比は、4.0重量%以上10.0重量%以下の範囲が好ましく、5.9重量%あるいは5.8重量%とすることが最も好ましい。

Wの組成比が4.0重量%未満であると、所望の高温強度を確保できないので好ましくなく、Wの組成比が10.0重量%を越えると高温耐食性が低下するので好ましくない。

### 【0034】

Taは、上記のようにMo及びWとの共存下にて固溶強化と析出硬化の作用により高温強度を向上させ、また一部が $\gamma'$ 相に対して析出硬化し、高温強度を向上させる。

Taの組成比は、4.0重量%以上10.0重量%以下の範囲が好ましく、4.0重量%以上6.0重量%以下の範囲がより好ましく、5.6重量%あるいは5.82重量%（5.82重量%）とすることが最も好ましい。

Taの組成比が4.0重量%未満であると、所望の高温強度を確保できないので好ましくなく、Taの組成比が10.0重量%を越えると、 $\sigma$ 相や $\mu$ 相が生成するようになって高温強度が低下するので好ましくない。

### 【0035】

Alは、Niと化合し、母相中に微細均一に分散析出する $\gamma'$ 相を構成するNi<sub>3</sub>Alで表される金属間化合物を、体積分率で60～70%の割合で形成し、高温強度を向上させる。

Alの組成比は、5.0重量%以上7.0重量%以下の範囲が好ましく、5.9重量%あるいは5.8重量%とすることが最も好ましい。

Alの組成比が5.0重量%未満であると、 $\gamma'$ 相の析出量が不十分となり、

所望の高温強度を確保できないので好ましくなく、A1の組成比が7.0重量%を越えると、共晶 $\gamma'$ 相と呼ばれる粗大な $\gamma$ 相が多く形成され、溶体化処理が不可能となり、高い高温強度を確保できなくなるので好ましくない。

### 【0036】

Hfは粒界偏析元素であり、 $\gamma$ 相と $\gamma'$ 相の粒界に偏在して粒界を強化し、これにより高温強度を向上させる。

Hfの組成比は、0.01重量%以上0.50重量%以下の範囲が好ましく、0.10重量%とすることが最も好ましい。

Hfの組成比が0.01重量%未満であると、 $\gamma'$ 相の析出量が不十分となり、所望の高温強度を確保できないので好ましくなく、Hfの組成比が0.50重量%を越えると、局部溶融を引き起こして高温強度を低下させるおそれがあるので好ましくない。

### 【0037】

Coは、A1、Ta等の母相に対する高温下での固溶限度を大きくし、熱処理によって微細な $\gamma'$ 相を分散析出させ、高温強度を向上させる。

Coの組成比は、0.1重量%以上9.9重量%以下の範囲が好ましく、5.8重量%とすることが最も好ましい。

Coの組成比が0.1重量%未満であると、 $\gamma'$ 相の析出量が不十分となり、所望の高温強度を確保できないので好ましくなく、Coの組成比が9.9重量%を越えると、A1、Ta、Mo、W、Hf、Cr等の他の元素とのバランスがくずれ、有害相が析出して高温強度が低下するので好ましくない。

### 【0038】

Reは母相である $\gamma$ 相に固溶し、固溶強化により高温強度を向上させる。また耐蝕性を向上させる効果もある。一方でReを多量に添加すると、高温時に有害相であるTCP相が析出し、高温強度が低下するおそれがある。

Reの組成比は、3.1重量%以上8.0重量%以下の範囲が好ましく、4.9重量%とすることが最も好ましい。

Reの組成比が3.1重量%未満であると、 $\gamma$ 相の固溶強化が不十分となって所望の高温強度を確保できないので好ましくなく、Reの組成比が8.0重量%

を越えると、高温時にTCP相が析出し、高い高温強度を確保できなくなるので好ましくない。

#### 【0039】

Ruは、TCP相の析出を抑え、これにより高温強度を向上させる。

Ruの組成比は、4.1重量%以上14.0重量%以下の範囲が好ましく、5.0重量%あるいは6.0重量%とすることが最も好ましい。

Ruの組成比が1.0重量%未満であると、高温時にTCP相が析出し、高い高温強度を確保できなくなる。さらに、Ruの組成比が4.1重量%未満であると、Ruの組成比が4.1重量%以上の場合に比べて、高温強度が低くなる。また、Ruの組成比が14.0重量%を越えると、 $\epsilon$ 相が析出して高温強度が低下するので好ましくない。

#### 【0040】

特に本発明では、Al、Ta、Mo、W、Hf、Cr、Co及びNiの組成比を最適なものに調整することにより、 $\gamma$ 相の格子定数と $\gamma'$ 相の格子定数を最適な範囲に設定して高温強度を向上させるとともに、Ruを添加することにより、TCP相の析出を抑制できる。

#### 【0041】

また、1273K(1000°C)から1373K(1100°C)のような高温での使用環境において、母相である $\gamma$ 相を構成する結晶の格子定数を $a_1$ とし、析出相である $\gamma'$ 相を構成する結晶の格子定数を $a_2$ としたとき、 $a_1$ と $a_2$ の関係が $a_2 \leq 0.999 a_1$ であることが好ましい。即ち、析出相の結晶の格子定数 $a_2$ が母相の結晶の格子定数 $a_1$ のマイナス0.1%以下であることが好ましい。また、析出相の結晶の格子定数 $a_2$ が母相の結晶の格子定数 $a_1$ のマイナス0.5%以上であるとよい。両者の格子定数が上記の関係を有する場合には、熱処理によって母相中に析出相が析出する際に、析出相が荷重方向の垂直方向に連続して延在するように析出するので、応力下で転位欠陥が合金組織中を移動することが少なくなり、クリープ強度を高めることが可能になる。

格子定数 $a_1$ と格子定数 $a_2$ の関係を $a_2 \leq 0.999 a_1$ とするには、Ni基単結晶超合金を構成する構成元素の組成を適宜調整することによって行われる。

## 【0042】

上記のNi基単結晶超合金によれば、Ruを添加することにより、クリープ強度低下の原因となるTCP相が高温使用時に析出するのが抑制される。また、他の構成元素の組成比を最適な範囲に設定することにより、母相(γ相)の格子定数と析出相(γ'相)の格子定数とを最適な値にすることが可能になる。これらにより、高温下でのクリープ強度を向上できる。

## 【0043】

また、上記のNi基単結晶超合金は、Tiをさらに含有してもよい。この場合、Tiの組成比は、0重量%以上2.0重量%以下の範囲が好ましい。Tiの組成比が2.0重量%を超えると、有害相が析出して高温強度が低下するので好ましくない。

## 【0044】

また、上記のNi基単結晶超合金は、Nbをさらに含有してもよい。この場合、Nbの組成比は、0重量%以上4.0重量%以下の範囲が好ましい。Nbの組成比が4.0重量%を超えると、有害相が析出して高温強度が低下するので好ましくない。

## 【0045】

また、上記のNi基単結晶超合金において、不可避的不純物以外に、例えば、B、C、Si、Y、La、Ce、V、Zrなどを含んでもよい。B、C、Si、Y、La、Ce、V、Zrのうちの少なくとも一つを含む場合、個々の成分の組成比は、B：0.05重量%以下、C：0.15重量%以下、Si：0.1重量%以下、Y：0.1重量%以下、La：0.1重量%以下、Ce：0.1重量%以下、V：1重量%以下、Zr：0.1重量%以下であるのが好ましい。上記個々の成分の組成比が上記範囲を超えると、有害相が析出して高温強度が低下するので好ましくない。

## 【0046】

## 【実施例】

次に、真空溶解炉を用いて各種のNi基単結晶超合金の溶湯を調整し、この合金溶湯を用いて組成の異なる複数の合金インゴットを鋳造した。各合金インゴッ

ト（参考例1～5、実施例1～3）の組成比を表2に示す。

【0047】

【表2】

試料（合金名）	元素（重量%）												
	Al	Ti	Ta	Nb	Mo	W	Re	C	Zr	Hf	Cr	Co	Ru
参考例1	6.0	5.8		3.2	6.0	5.0			0.10	3.0	6.0	2.0	残部
参考例2	5.9	5.7		3.2	5.9	5.0			0.10	3.0	5.9	3.0	残部
参考例3	6.0	6.0		4.0	6.0	5.0			0.10	3.0	6.0	3.0	残部
参考例4	5.9	5.9		4.0	5.9	5.0			0.10	3.0	5.9	4.0	残部
参考例5	5.9	5.7		3.1	5.9	4.9			0.10	2.9	5.9	4.0	残部
実施例1	5.9	5.9		3.9	5.9	4.9			0.10	2.9	5.9	4.0	残部
実施例2	5.8	5.6		3.1	5.8	4.9			0.10	2.9	5.8	5.0	残部
実施例3	5.8	5.8		3.9	5.8	4.9			0.10	2.9	5.8	6.0	残部

## 【0048】

次に、合金インゴットに対して溶体化処理及び時効処理を行い、合金組織の状態を走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した。溶体化処理は、1573K（1300°C）で1時間保持した後、1603K（1330°C）まで昇温し、5時間保持した。また、時効処理は、1273K～1423K（1000°C～1150°C）で4時間保持する1次時効処理と、1143K（870°C）で20時間保持する2次時効処理を連続して行った。

その結果、各試料とともに、組織中にTCP相は確認されなかった。

## 【0049】

次に、溶体化処理及び時効処理を施した各試料に対して、クリープ試験を行った。クリープ試験は、表3に示す温度及び応力の各条件下で各試料（参考例1～5、及び実施例1～3）がクリープ破断するまでの時間を寿命として測定した。

## 【0050】

【表3】

試料 (合金名)	クリープ試験条件/破断寿命(h)	
	1273K(1000°C) 245MPa	1373K(1100°C) 137MPa
参考例1	209.35	105.67
参考例2	283.20	158.75
参考例3	219.37	135.85
参考例4	274.38	153.15
参考例5	328.00	487.75
実施例1	509.95	326.50
実施例2	420.60	753.95
実施例3		1062.50

## 【0051】

表3から明らかなように、参考例1～5、及び実施例1～3の試料はいずれも、1273K（1000°C）以上の高温の条件下であっても高い強度を有してい

ることがわかる。特に、Ruの組成比が4.0重量%である参考例5、及びRuの組成比が5.0重量%である実施例1及び2、Ruの組成比が6.0重量%である実施例3は、高い高温強度を有していることがわかる。

#### 【0052】

また、表1に示した従来の合金（比較例1～比較例5）、及び表2に示した各試料（参考例1～5、及び実施例1～3）に対して、クリープランチャー特性（耐用温度）を比較した。クリープランチャー特性は、137MPaの応力を1000時間印加した条件で試料が破断するまでの温度を測定した結果、または試料の破断温度をその条件下に換算したもの用いている。

#### 【0053】

【表4】

試料（合金名）	耐用温度（℃級）
比較例1 (CMSX-2)	1289K(1016°C)
比較例2 (CMSX-4)	1306K(1033°C)
比較例3 (Rene' N6)	1320K(1047°C)
比較例4 (CMSX-10K)	1345K(1072°C)
比較例5 (3B)	1353K(1080°C)
参考例1	1315K(1042°C)
参考例2	1325K(1052°C)
参考例3	1321K(1048°C)
参考例4	1324K(1051°C)
参考例5	1354K(1081°C)
実施例1	1344K(1071°C)
実施例2	1366K(1093°C)
実施例3	1375K(1102°C)

(137MPa, 1000h 換算)

#### 【0054】

表4から明らかなように、参考例1～5の試料、及び実施例1～3の試料はいずれも、従来の合金（比較例1～比較例5）に比べて同等以上の高い耐用温度を

有していることがわかる。特に、実施例1～3はいずれも、高い耐用温度（実施例1：1344K（1071°C）、実施例2：1368K（1093°C）、実施例3：1375K（1102°C））を有していることがわかる。

#### 【0055】

従って、本実施例1～3は、従来のNi基単結晶超合金と比較して高い耐熱温度を有しており、優れた高温強度を有していることがわかる。

#### 【0056】

なお、Ni基単結晶超合金では、Ruが必要以上に増えると、 $\epsilon$ 相が析出して高温強度が低下するため、Ruの含有量は、他の元素とのバランスがくずれない範囲内（例えば、4.1重量%以上14.0重量%以下）に定められるのが好ましい。

#### 【0057】

##### 【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明のNi基単結晶超合金によれば、構成元素の組成比を最適な範囲に設定することにより、母相（ $\gamma$ 相）の格子定数と析出相（ $\gamma'$ 相）の格子定数とを最適な値にすることが可能になり、高温下での強度を向上できる。また、Ruの組成比が4.1重量%以上14.0重量%以下であるので、クリープ強度低下の原因となるTCP相が高温使用時に析出するのが抑制される。

#### 【0058】

また、本発明のNi基単結晶超合金によれば、母相の格子定数を $a_1$ とし、析出相の格子定数を $a_2$ としたとき、 $a_1$ と $a_2$ の関係が $a_2 \leq 0.999 a_1$ であり、即ち析出相の格子定数 $a_2$ が母相の格子定数 $a_1$ のマイナス0.1%以下であるので、母相中に析出する析出相が荷重方向の垂直方向に連続して延在するように析出し、応力下で転位欠陥が合金組織中を移動することが少なくなり、従来のNi基単結晶超合金よりも強度を大幅に高めることができる。

【書類名】

要約書

【要約】

【課題】 高温下でのT C P相の析出を防止して強度の向上を図ることが可能なNi基単結晶超合金を提供する。

【解決手段】 成分が重量比で、Al:5.0重量%以上7.0重量%以下、Ta:4.0重量%以上10.0重量%以下、Mo:1.1重量%以上4.5重量%以下、W:4.0重量%以上10.0重量%以下、Re:3.1重量%以上8.0重量%以下、Hf:0.01重量%以上0.50重量%以下、Cr:2.0重量%以上5.0重量%以下、Co:0.1重量%以上9.9重量%以下、Ru:4.1重量%以上14.0重量%以下を含有し、残部がNiと不可避的不純物からなる組成を有するNi基単結晶超合金を採用する。

【選択図】

なし

出願人履歴情報

識別番号

[301023238]

1. 変更年月日

[変更理由]

2001年 4月 2日

新規登録

住 所

茨城県つくば市千現一丁目2番1号

氏 名

独立行政法人物質・材料研究機構

## 出願人履歴情報

識別番号

[000000099]

1. 変更年月日

[変更理由]

住 所

氏 名

1990年 8月 7日

新規登録

東京都千代田区大手町2丁目2番1号

石川島播磨重工業株式会社